



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Forschungsagenda Standortauswahl

Forschung und Entwicklung zur Umsetzung des Standort-
auswahlverfahrens

Stand: 2021

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Anlagenverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	3
Vorwort zur Forschungsagenda Standortauswahl	5
1 Einleitung	7
1.1 Einordnung der BGE in die Forschungslandschaft	8
1.2 Das Standortauswahlverfahren	9
2 Forschung im Standortauswahlverfahren	10
2.1 Forschung und Entwicklung im Standortauswahlverfahren	11
2.2 Planung und Initiierung von FuE-Aktivitäten	12
2.3 Qualitätssicherung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben	14
2.4 Interaktionen mit der Öffentlichkeit und Fachwelt	14
3 Fortschreibung und Struktur der Forschungsagenda	15
3.1 Fortschreibung der Forschungsagenda	15
3.2 Struktur der Forschungsagenda	16
4 Forschungsfelder der Forschungsagenda	18
4.1 Forschungsfeld 1 – Inventar radioaktiver Abfälle und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften	18
4.2 Forschungsfeld 2 – Geowissenschaftliche Fragestellungen	19
4.3 Forschungsfeld 3 – Endlagerplanung	20
4.4 Forschungsfeld 4 – Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen	22
4.5 Forschungsfeld 5 – Transfer und Interaktivität zu soziotechnischen Fragen	23
Literaturverzeichnis	25
Anzahl der Blätter dieses Dokumentes	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematischer Ablauf des Standortauswahlverfahrens	9
Abbildung 2:	Gegenüberstellung der Abfallklassifizierung der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) und der deutschen Klassifizierung.	18

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Roadmap zur Forschungsagenda Standortauswahl GZ: SG01203/6-1/3-2021#4 – Objekt-ID: 893203
-----------	--

Abkürzungsverzeichnis

AtG	Atomgesetz
BASE	Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BGZ	Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
DAEF	Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung
DECOVALEX	DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments
EndLaNOG	Gesetz zur Neuordnung der Organisationsstruktur im Bereich der Endlagerung
EndISiAnfV	Endlagersicherheitsanforderungsverordnung
EndISiUntV	Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung
ENTRIA	Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen
ESK	Entsorgungskommission
EURAD	EUropean Joint Programme on RADioactive Waste Management
FEP	Features, Events, Processes (Eigenschaften, Ereignisse, Prozesse)
FEP-DB	FEP (Features, Events, Processes) – Datenbank
FuE	Forschung und Entwicklung
GWB	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen

IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
IGD-TP	Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technology Platform
IGSC	Integration Group for the Safety Case
NEA	Nuclear Energy Agency
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
StandAG	Standortauswahlgesetz
TRANSENS	Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktive Abfälle in Deutschland
WMO	Waste Management Organisation / Vorhabenträger
W&T	Wissenschaft und Technik

Vorwort zur Forschungsagenda Standortauswahl

Mit der Aufgabenübertragung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) ist die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) die Vorhabenträgerin für das Standortauswahlverfahren. Damit hat sie auch die Aufgaben, Forschungs- und Entwicklungsfragen (FuE-Fragen) zu identifizieren und zu formulieren, FuE-Bedarfe abzuleiten sowie entsprechende Vorhaben zur Deckung dieser Bedarfe durchzuführen. Dazu wurde erstmals im Jahr 2020 die Forschungsagenda des Bereichs Standortauswahl der BGE veröffentlicht (BGE 2020ch). Mit Blick auf das frühe Stadium des Standortauswahlverfahrens wurde beschlossen bereits nach einem Jahr in 2021 eine Aktualisierung der Forschungsagenda vorzunehmen.

In der „Forschungsagenda Standortauswahl“ werden die Schwerpunkte und Aktivitäten der Forschung, die mit Blick auf die Durchführung des Standortauswahlverfahrens von Bedeutung sind, aufgeführt und zeitlich eingeordnet. Es werden Grundlagen, Methodik und Struktur der Forschungsplanung, sowie laufende Aktivitäten im Bereich Forschung und Entwicklung mit direktem Bezug zum Standortauswahlverfahren erläutert. Mit der „Forschungsagenda Standortauswahl“ werden weiterhin Informationen zu Beteiligungen der BGE mit Fokus auf die Umsetzung des Standortauswahlverfahrens in nationalen und internationalen Gremien und Kooperationen gegeben.

Die in der „Forschungsagenda Standortauswahl“ aufgeführten Vorhaben umfassen die Untersuchung grundlegender Forschungsfragen, die Weiterentwicklung und Optimierung des Standes von Wissenschaft und Technik (W&T), den Wissenstransfer, die (Weiter-) Entwicklung geeigneter Methoden und Instrumente sowie Modelle, Labor- und in-situ Versuche. Die Entwicklung und Durchführung von Demonstrationsversuchen werden erst zu einem späteren Zeitpunkt des Standortauswahlverfahrens relevant und deswegen sukzessive im Rahmen der Fortschreibung in die „Forschungsagenda Standortauswahl“ aufgenommen. Die Demonstrationsversuche zielen im späteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens darauf ab die erforderlichen Nachweise, welche mit dem Standortvorschlag am Ende des Standortauswahlverfahrens geführt werden müssen, zu erarbeiten. Bei der Identifizierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden auch Studien zur themenbezogenen Sichtung und Bewertung des Standes von W&T mit aufgegriffen.

Sprachlich wird hier unterschieden zwischen Forschungsfragen, die sich aus den Arbeiten im Standortauswahlverfahren sowie dem Austausch mit der (Fach-)Öffentlichkeit ergeben, und den daraus abgeleiteten konkreten Forschungsbedarfen. Forschungsfragen stellen zunächst allgemeine Überlegungen dar, ohne ihre Relevanz zum Verfahren zu bewerten. Konkrete Bedarfe ergeben sich, wenn sich abzeichnet, dass es erforderlich ist die offenen Forschungsfragen für die sicherheitsorientierte Umsetzung des Standortauswahlverfahrens zu bearbeiten und zu klären. Um eine bessere Lesbarkeit des Dokumentes zu erreichen, wird im Folgenden der zusammenfassende Begriff „Forschungsagenda“ verwendet. Vereinfachend wird der breit gefasste Begriff „FuE-Aktivitäten“ verwendet, welcher beispielsweise Initiativen, Beauftragungen und Vorhaben beinhaltet.

Die „Forschungsagenda Standortauswahl“ ist in vier Kapitel gegliedert. In Kapitel 1 werden die allgemeinen gesetzlichen Vorgaben und Rahmenbedingungen für das Standortauswahlverfahren und die Forschungslandschaft zur Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland vorgestellt, sowie das Standortauswahlverfahren an sich beschrieben. In Kapitel 2 wird näher auf die Besonderheiten der Forschung und Forschungsplanung im Rahmen des Standortauswahlverfahrens eingegangen. Dazu gehören die konkreten Aufgabenstellungen nach aktuellen rechtlichen Vorgaben, wie mit diesen umgegangen wird, aber auch welche Vernetzungen und Kooperationen im Rahmen der FuE-Aktivitäten genutzt werden. Die Entstehung und der Aufbau der „Forschungsagenda Standortauswahl“ werden in Kapitel 3 erläutert. Hier wird auch die in der Anlage mitgeführte Forschungs-Roadmap eingeführt, die u. a. als Steuerungselement zur Planung und Umsetzung der FuE-Bedarfe des Bereichs Standortauswahl der BGE genutzt werden kann. Die in Kapitel 3 definierten Forschungsfelder mit den dazugehörigen Themen werden näher in Kapitel 4 beschrieben.

1 Einleitung

Am 21. September 2016 wurde die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) auf Basis des Gesetzes zur Neuordnung der Organisationsstruktur im Bereich der Endlagerung (EndLaNOG 2016) gegründet.

Die Durchführung des Standortauswahlverfahrens richtet sich nach dem Standortauswahlgesetz (StandAG). Die ursprüngliche Fassung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle (StandAG 2013) vom 23. Juli 2013 (Bundesgesetzblatt (BGBl.) I S. 2553) trat nach Evaluierung durch den Bundestag am 16. Mai 2017 außer Kraft. Zeitgleich trat die Neufassung, das Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (StandAG) vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074) zum 16. Mai 2017 in Kraft. Letzte Änderungen des Standortauswahlgesetzes erfolgten durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2760).

Die Übertragung der Wahrnehmung der Aufgaben des Bundes nach § 9a Abs. 3 S. 1 des Atomgesetzes (AtG) auf die BGE erfolgte gemäß § 9a Abs. 3 S. 2 AtG am 25. April 2017 (BMU 2017). Damit ist die BGE Vorhabenträgerin für das Standortauswahlverfahren nach § 3 Abs. 1 StandAG. Am 5. September 2017 erfolgte der offizielle Start des Standortauswahlverfahrens in Berlin. Nach § 14 StandAG ist die Vorhabenträgerin nach der Veröffentlichung ihrer ersten Zwischenergebnisse im „Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 2020g) am 28.09.2020 zur Ermittlung von Standortregionen für die überträgige Erkundung verpflichtet.

Mit dem Standortauswahlverfahren soll für hochradioaktive Abfälle ein Standort für ein Endlager in Deutschland ermittelt werden. Neben dem StandAG sind die Endlagersicherheitsanforderungsverordnung (EndlSiAnfV) vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094) und die Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV) vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094, 2103) rechtliche Grundlagen für die Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle. Im Rahmen dieser Verordnungen wurden auch neue Begriffe definiert, z. B. „Bewertungszeitraum“ an Stelle von „Nachweiszeitraum“, die nachfolgend verwendet werden.

Für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen ist gemäß § 1 StandAG in einem partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren jener Standort für die Errichtung einer Anlage zur Endlagerung nach § 9a Abs. 3 S. 1 AtG zu ermitteln, welcher im Ergebnis des vergleichenden Verfahrens die bestmögliche Sicherheit aufweist. Die bestmögliche Sicherheit bezieht sich dabei auf den bestmöglichen dauerhaften Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen der eingelagerten Abfälle für einen Zeitraum von einer Million Jahre. Nach StandAG kommen Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein als Wirtsgesteine in Betracht (§ 1 Abs. 3 StandAG) und soll die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen in einem für diese Zwecke errichteten Endlagerbergwerk mit dem Ziel des endgültigen Verschlusses erfolgen (§ 1 Abs. 4 StandAG).

Das StandAG regelt die Phasen des Standortauswahlverfahrens sowie die Kriterien und Anforderungen, welche in der jeweiligen Phase anzuwenden sind (siehe Kapitel 1.2). Im Zuge des Standortauswahlverfahrens findet neben formellen Teilnehmungsformaten eine kontinuierliche Information und Diskussion mit der interessierten Öffentlichkeit und der Fachwelt statt. Am Ende jeder Phase des Verfahrens treffen der Bundestag und der Bundesrat die Entscheidung über die weiter zu betrachtenden Standortregionen und Standorte sowie die abschließende Festlegung des Endlagerstandortes am Ende der Phase III.

Kosten für Forschung und Entwicklung der Vorhabenträgerin im Zusammenhang mit der Standortauswahl sind nach § 28 Abs. 2 Nr. 6 StandAG umlagefähig und werden durch den Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung erstattet.

1.1 Einordnung der BGE in die Forschungslandschaft

Als Vorhabenträgerin ergeben sich für die BGE im Rahmen der Umsetzung des Standortauswahlverfahrens Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsbedarfe unter Berücksichtigung und auf Basis des vorhandenen Standes von Wissenschaft und Technik (W&T).

Unabhängig von der BGE erfolgen weitere Forschungsarbeiten zum Themengebiet der Entsorgung radioaktiver Abfälle durch andere Behörden und Institute in Deutschland, z. B. im Rahmen der Forschungs- und Nachwuchsförderung und der Grundlagenforschung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Neben der klassischen Projektförderung gehört auch die institutionelle Förderung des BMBF hierzu. Außerdem wird anwendungsorientierte wissenschaftliche Grundlagenforschung zur Thematik der Endlagerung radioaktiver Abfälle sowie der Kompetenzerhalt durch Nachwuchsförderung auch durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unterstützt. Die nachgeordneten Behörden des BMWi führen entsprechende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (FuE-Aktivitäten) durch. Darüber hinaus werden auch Forschungsprojekte im Rahmen des Ressortforschungsplans des BMU gefördert.

Im Weiteren bearbeitet die Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH (BGZ) aufgabenbezogene Forschungsfragen mit dem Schwerpunkt auf der Sicherheit von Transport- und Lagerbehältern sowie zur Zwischenlagerung. Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) forscht zur Erfüllung seiner aufsichtlichen Aufgaben insbesondere zu den Themen Standortauswahlverfahren und Endlagersicherheit, Öffentlichkeitsbeteiligung, Zwischenlagerung und Transport von radioaktiven Abfällen sowie nukleare Sicherheit.

1.2 Das Standortauswahlverfahren

Das Standortauswahlverfahren ist ein gestuftes Verfahren, das sich nach StandAG in drei Phasen gliedert (vgl. Abbildung 1). Die Ergebnisse jeder Phase und die daraus resultierenden Festlegungen durch den Bundestag und Bundesrat bestimmen den konkreten Arbeitsumfang der jeweils folgenden Phase.

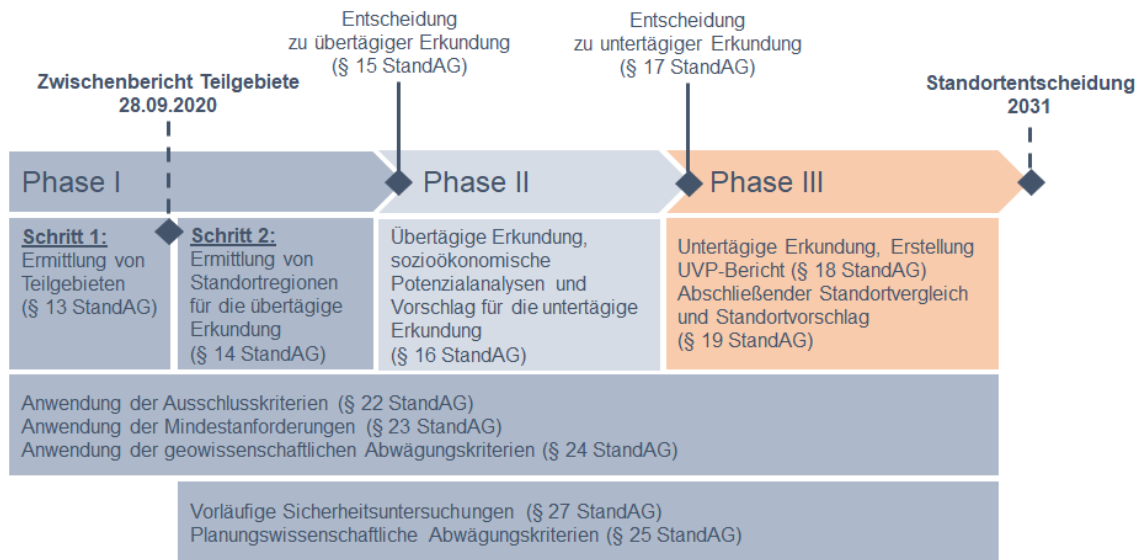


Abbildung 1: Schematischer Ablauf des Standortauswahlverfahrens

Phase I ist in zwei Schritte unterteilt. In Schritt 1 erfolgte die Ermittlung von Teilgebieten gemäß § 13 StandAG, welche günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen. Diese 90 ermittelten Teilgebiete wurden am 28. September 2020 von der BGE im „Zwischenbericht Teilgebiete“ veröffentlicht (BGE 2020g). Im „Zwischenbericht Teilgebiete“ wurden u. a. alle erarbeiteten Grundlagen für die Anwendung der Ausschlusskriterien, der Mindestanforderungen und der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sowie detaillierte Darlegungen über die Datenabfragen, die Datenlieferungen und die Homogenisierung der Daten zusammengeführt. Ziel des Zwischenberichtes war es, die ermittelten Teilgebiete gemäß § 13 StandAG mit zu erwartenden günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle darzustellen. Mit der Veröffentlichung des „Zwischenberichtes Teilgebiete“ startete mit der „Fachkonferenz Teilgebiete“ das erste formelle Beteiligungsformat im Standortauswahlverfahren.

In Schritt 2 der Phase I erfolgt die Ermittlung von Standortregionen für die überträgige Erkundung gemäß § 14 StandAG auf Basis der zuvor ermittelten Teilgebiete. Hierfür werden gemäß § 27 StandAG, der EndlSiUntV und der EndlSiAnfV repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen in jedem der 90 ermittelten Teilgebiete durchgeführt. Auf Basis der Ergebnisse der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen erfolgt die erneute Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien und die Ermittlung günstiger Standortregionen für die überträgige Erkundung. Die Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien erfolgt nach Maßgabe von

§ 25 StandAG. Des Weiteren werden für die ermittelten Standortregionen regionsbezogene Erkundungsprogramme für die übertägige Erkundung erarbeitet.

Die BGE übermittelt den begründeten Vorschlag für die übertägig zu erkundenden Standortregionen zusammen mit den Ergebnissen aus der Fachkonferenz zu den Teilgebieten sowie den regionsbezogenen Erkundungsprogrammen an das BASE. Phase I des Standortauswahlverfahrens endet mit Festlegung der übertägig zu erkundenden Standortregionen durch den Bundestag und Bundesrat per Bundesgesetz.

In Phase II des Standortauswahlverfahrens erfolgt die übertägige Erkundung der gesetzlich festgelegten Standortregionen gemäß § 16 StandAG auf Basis der regionsbezogenen Erkundungsprogramme. Für jede Standortregion werden weiterentwickelte vorläufige Sicherheitsuntersuchungen auf Basis der Ergebnisse der übertägigen Erkundungen sowie sozioökonomischen Potenzialanalysen durchgeführt. Des Weiteren erfolgt durch die erneute Anwendung der Ausschlusskriterien, der Mindestanforderungen und der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sowie nach Maßgabe von § 25 StandAG der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien die Ermittlung günstiger Standorte für die untertägige Erkundung. Weiter erarbeitet die BGE standortbezogene Erkundungsprogramme und Prüfkriterien für die untertägige Erkundung und die umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen. Den Vorschlag für die untertägig zu erkundenden Standorte übermittelt die BGE mit Begründung dem BASE. Die Phase II des Standortauswahlverfahrens endet mit Festlegung der untertägig zu erkundenden Standorte durch den Bundestag und Bundesrat per Bundesgesetz.

In Phase III erkundet die BGE die festgelegten Standorte untertägig und führt umfassende vorläufige Sicherheitsuntersuchungen durch. Auf Basis der Ergebnisse ermittelt die BGE durch Anwendung der Kriterien und Anforderungen gemäß der §§ 22 bis 25 StandAG geeignete Standorte. Die BGE übermittelt den Standortvorschlag für ein Endlager mit Begründung an das BASE. Die Phase III und das Standortauswahlverfahren selbst enden mit der Standortentscheidung durch den Bundestag und Bundesrat.

2 Forschung im Standortauswahlverfahren

Ziel der Forschungsagenda ist es darzustellen, welche grundsätzlichen FuE-Aktivitäten die BGE für die Umsetzung des wissenschaftsbasierten Standortauswahlverfahrens plant und wie diese zeitlich in das Verfahren eingeordnet werden können. Zur Umsetzung des wissenschaftsbasierten Standortauswahlverfahrens ist der BGE eine systematische, zielgerichtete, ergebnisoffene, vom aktuellen Stand von W&T ausgehende und auf anerkannten, fortschrittlichen wissenschaftlichen Methoden basierende Bearbeitung der Forschungsfragen wichtig. Der Aufbau und Erhalt wissenschaftlicher Kompetenz der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind dabei wichtige Voraussetzungen für die Durchführung des Standortauswahlverfahrens.

2.1 Forschung und Entwicklung im Standortauswahlverfahren

FuE-Bedarfe ergeben sich unter anderem aus der Anwendung der §§ 22 bis 25 sowie § 27 StandAG und aus der EndlSiUntV und der EndlSiAnfV. Die beiden Verordnungen regeln die Anforderungen an die Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen im Zuge des Standortauswahlverfahrens sowie im Falle der EndlSiAnfV, die zu berücksichtigenden Anforderungen im späteren Genehmigungsverfahren nach § 9b Abs. 1a AtG für das Endlager für hochradioaktive Abfälle. Die Entwicklung des Standes von W&T ist dabei einzubeziehen. Folgende zu betrachtende Randbedingungen und Anforderungen ergeben sich aus diesen Regularien:

- Berücksichtigung der drei potenziellen Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein in einem vergleichenden, sicherheitsgerichteten Verfahren,
- Anwendung der Ausschlusskriterien, der Mindestanforderungen, der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien und nach Maßgabe von § 25 StandAG der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien,
- Verständnis des Verhaltens hochradioaktiver Abfälle und der Entwicklung der radiotoxischen und chemotoxischen Eigenschaften,
- Bewertung von Ungewissheiten im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen,
- maximale physikalisch mögliche Temperaturen in den verschiedenen Wirtsgesteinen zur Bewertung der Grenztemperatur an der Behälteraußenseite,
- Auslegung des Endlagers und der damit verbundenen Definition der wesentlichen Barrieren des Endlagersystems und der Spezifikationen der wesentlichen technischen und geotechnischen Barrieren,
- Verständnis und Prognose von geologischen Prozessen in Bezug auf die Sicherheit eines Endlagers,
- Optimierung des Endlagersystems mit Blick auf die Qualität des sicheren Einschlusses und der Robustheit des Endlagersystems – Langzeitsicherheit und Betriebssicherheit des Endlagers,
- Sicherheitstechnische Anforderungen an die zu entwickelnden Endlagerbehälter sowie die Vorgaben für die Behandlung der zu verpackenden radioaktiven Abfälle,
- Nachweisführung zur technischen Machbarkeit der Rückholung der Abfälle während der Betriebsphase des geplanten Endlagers,
- Stilllegung und Verschluss des Endlagerbergwerks in einer tiefen geologischen Formation,
- Möglichkeit einer Bergung der Abfälle mit dem Eintritt in den Stilllegungsbetrieb bis 500 Jahre nach Verschluss des Endlagerbergwerks,

- Ableitung von Erkundungs-, Forschungs- und Entwicklungsfragestellungen aus der Bewertung des Endlagersystems und der Ungewissheiten im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen.

Neben diesen regulatorischen Randbedingungen und Vorgaben sind z. B. auch die Empfehlungen zu Forschung und Entwicklung mit Bezug zur Standortauswahl der Stellungnahme der Entsorgungskommission (ESK 2016) in die Forschungsagenda eingeflossen. Darüber hinaus wurde mit dem Schreiben des BMU vom 13. September 2019 (BMU 2019) bestätigt, dass die Zuständigkeit der Endlagerbehälterentwicklung aufgrund der Wechselwirkungen mit den zu entwickelnden Sicherheitskonzepten im Rahmen der Standortauswahl bei der BGE liegt. Im Zuge eines Beratungsgesprächs mit dem BMU und der BGZ zum Thema Aufgabenzuschnitt zwischen BGE und BGZ, am 30. Januar 2020 in Bonn, wurde die Zuständigkeit für das gemäß StandAG standortnahe Eingangslager einschließlich Abruflogistik und einer eventuell erforderlichen Konditionierungsanlage diskutiert. Mit der Umorganisation des Bereiches Standortauswahl zum 1. Januar 2021 wurden die Aufgaben der Endlagerbehälterentwicklung einschließlich Konditionierung und der Planung eines entsprechenden Eingangslagers aufbauorganisatorisch direkt im Bereich Standortauswahl platziert. Die BGE wird künftig auch zu diesen Themenbereichen entsprechende FuE-Aktivitäten initiieren und diese entsprechend in der „Forschungsagenda Standortauswahl“ aufnehmen.

Die Forschungsagenda umfasst und beschreibt auch soziotechnische Themen, die für die Umsetzung des Standortauswahlverfahrens von Relevanz sind. Der Umgang mit soziotechnischen Aspekten und transdisziplinären¹ Fragestellungen in den identifizierten Forschungsfeldern fördert einen vielfältigen und offenen Diskurs. Aktivitäten zu Austausch und Beteiligungen an inter- und transdisziplinären Verbänden und Kooperationen finden bereits statt und werden sukzessive intensiviert.

2.2 Planung und Initiierung von FuE-Aktivitäten

Die zeitliche Einordnung und Planung der FuE-Vorhaben erfolgt mit Blick auf Dringlichkeit und Relevanz für die Umsetzung des Standortauswahlverfahrens. Maßgeblich ist, was die BGE tatsächlich an Erkenntnissen, (Weiter-)Entwicklungen, Modellen und später Demonstrationsversuchen benötigt, um ihre Aufgaben zielorientiert umsetzen zu können.

FuE-Fragen werden identifiziert und daraus gegebenenfalls FuE-Bedarfe abgeleitet, die dann mit konkreten FuE-Vorhaben unterlegt und gedeckt werden. Dies geschieht unter

¹ Dem Forschungsvorhaben ENTRIA folgend, bedeutet der Begriff „Transdisziplinarität“, dass zusätzlich zu der interdisziplinären Zusammenarbeit von z. B. Natur- und Geisteswissenschaften an sozio-technischen Themen die gesellschaftliche Position (z. B. in Gestalt der interessierten Öffentlichkeit) aktiven Einfluss auf die Formulierung der Forschungsfragen und bei der Durchführung von Forschungsaktivitäten hat und nicht erst eine Einbindung bei der Kommunikation und Vorstellung der Ergebnisse erfolgt. Des Weiteren umfasst der Begriff „Transdisziplinarität“ das disziplinenübergreifende Erarbeiten und Etablieren neuer Arbeitsmethoden. Es handelt sich also um einen über reine Transparenz hinausgehenden Ansatz, durch den die Teilhabe der Gesellschaft bereits zu Beginn der Forschungsaktivitäten gewährleistet werden soll.

Berücksichtigung von Ressourcen und Prioritäten. Dabei ist nicht nur der Zeitpunkt des Vorliegens der benötigten Forschungsergebnisse, sondern auch der Zeitpunkt der Initiierung von FuE-Aktivitäten mit längeren Vorlaufzeiten zu betrachten (z. B. Genehmigungsverfahren, notwendige Vorentwicklungsarbeiten, Verfügbarkeit bzw. Einrichtung von Infrastrukturen für Versuche).

Für die zielgerichtete Planung und Verknüpfung der FuE-Aktivitäten innerhalb des Standortauswahlverfahrens ist ein gutes Verständnis der angestrebten Zielergebnisse und Art der erforderlichen Arbeiten notwendig. Die sich hieraus ergebenden Anforderungen sind planerisch zu berücksichtigen. Bei der FuE-Planung für die Standortauswahl werden vier Vorhabenkategorien verwendet:

A. Erhebung des Standes von Wissenschaft und Technik (W&T)

Forschung in Hinblick auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle wird von nationalen und internationalen Akteuren seit Jahrzehnten durchgeführt. Infolge dessen sind Erkenntnisse und Erfahrungen vorhanden, die mit Blick auf die Anforderungen des Standortauswahlverfahrens bewertet werden müssen. Auch die Bewertung der Anwendbarkeit und Aktualität von Ergebnissen und Daten aus früheren Vorhaben ist ein wichtiger Aspekt dieser Vorhabenkategorie. Die Berücksichtigung des Standes von W&T im Zuge der Umsetzung des Standortauswahlverfahrens, aber auch das Nachhalten der Entwicklungen über die langen Zeiträume der Entsorgungsprogramme hinweg, stellen eine wichtige Aufgabe dar. Vorhaben zur Erfassung und Bewertung des Standes von W&T werden daher für weitestgehend alle forschungsrelevanten Themen eingeplant. Die Ergebnisse unterstützen die Identifizierung von Wissenslücken und offenen Fragen sowie die Ableitung von Bedarfen. Sie sind oft Basis weiterer FuE-Aktivitäten und müssen daher vorlaufend sein.

B. Forschung

In Forschungsvorhaben werden grundlegende neue Erkenntnisse mit dem Ziel erarbeitet, identifizierte, noch bestehende Wissenslücken zu füllen. Die Ergebnisse von Forschungsvorhaben sind definitionsgemäß offen. Die Reproduzierbarkeit von generierten Forschungsergebnissen im Rahmen dieser Vorhabenkategorie muss gewährleistet werden.

C. Entwicklung

In Entwicklungsprojekten werden bereits bestehende Methoden, Modelle und Techniken sowie bestehendes Wissen für die konkrete Anwendung im Standortauswahlverfahren (weiter-) entwickelt und angepasst. Die Reproduzierbarkeit von generierten Forschungsergebnissen muss auch im Rahmen dieser Vorhabenkategorie gewährleistet werden.

D. Fachkompetenz/Spezialexpertise

Bestimmte Aufgaben der BGE erfordern ein sehr spezifisches Fachwissen und Expertise. Im Laufe des Standortauswahlverfahrens sind diese besonderen Kompetenzen einzuplanen und ihre termingerechte Verfügbarkeit sicher zu stellen. Entsprechende Kompetenzfelder müssen identifiziert werden, mögliche Anbieter identifiziert und Kooperationen vorbereitet werden. Gegebenenfalls sind Aufbau und Erhalt eigener Spezialfachkompetenzen zu entscheiden und zu planen.

Für die Initiierung, Vergabe und Umsetzung von FuE-Vorhaben stehen eine Reihe verschiedener Möglichkeiten zur Verfügung. Hierzu gehören u. a. öffentliche Ausschreibungen, Direktvergaben bei Ausnahmetatbeständen gemäß § 116 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB), eigene Studien und kooperative Forschungsbünde. Die BGE ist mit Blick auf Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich der Auftragsforschung aktiv.

Die BGE veröffentlicht seit März 2021 auf ihrer Homepage (<https://www.bge.de/de/aktuelles/forschungsaufrufe/>) wissenschaftliche Fragestellungen mit Blick auf die Umsetzung des Standortauswahlverfahrens und ruft zur Einreichung entsprechender Projektskizzen (Vorhaben nach § 116 GWB) auf.

2.3 Qualitätssicherung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

Der Auftragnehmer führt das Vorhaben unter Zugrundelegung des Standes von W&T durch und dokumentiert die erzielten Ergebnisse als Abschlussbericht. Die erzielten Ergebnisse und der Abschlussbericht sind grundsätzlich im Namen des Auftragnehmers zu veröffentlichen und an die BGE zu übermitteln. Die fachliche und formale Qualitätssicherung obliegt dem Auftragnehmer, dabei sind die erstellten Unterlagen auf eine hinreichende Bearbeitungstiefe und hinsichtlich der formalen Anforderungen im Sinne einer guten wissenschaftlichen Praxis zu prüfen. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse des Vorhabens in Open-Access-Zeitschriften, die einer wissenschaftlichen Qualitätssicherung im Rahmen des Peer-Review-Verfahrens unterliegen, ist seitens der BGE ausdrücklich erwünscht. Die Erkenntnisse aus FuE-Vorhaben und Vernetzungen fließen in die Fortschreibung der Forschungsagenda ein und sollen systematisch in einem Wissensspeicher erfasst sowie für das Wissensmanagement der BGE verfügbar gemacht und nachgehalten werden.

2.4 Interaktionen mit der Öffentlichkeit und Fachwelt

Der BGE liegt viel daran das Standortauswahlverfahren, wie im StandAG gefordert, transparent, wissenschaftsbasiert, lernend und selbsthinterfragend durchzuführen. Im Zuge des wissenschaftsbasierten Arbeitens ist der BGE ein offener, wissenschaftlicher Diskurs wichtig.

Die Forschungsagenda wird auf der Homepage der BGE veröffentlicht und im Rahmen von Veranstaltungen (z. B. „Tage der Standortauswahl“) vorgestellt. Der Austausch zu

wissenschaftlichen Fragestellungen mit Fachexperten*innen, interessierten Bürger*innen und Beteiligten des Standortauswahlverfahrens ist der BGE sehr wichtig. Seitens der BGE sind Feedback, Kritik und Vorschläge zur Fortschreibung der Forschungsagenda erwünscht.

Aus der Interaktion mit der Fachwelt sowie aus der Vernetzung in nationalen und internationalen Kooperationen ergeben sich auch weitere Fragestellungen für FuE-Aktivitäten. So nimmt die BGE u. a. für den Bereich Standortauswahl als ständiger Gast an der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung ([DAEF](#)) teil und kooperiert mit anderen internationalen Vorhabenträgern und Forschungsinstituten (z. B. Universitäten, Forschungszentren, Bundesinstituten und Fachexperten). Die aktive Beteiligung der BGE für den Bereich Standortauswahl an Forschungsverbänden wie DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments ([DECOVALEX](#)) und Untertagelaboren wie [Mont Terri](#) (Schweiz) und [Grimsel](#) (Schweiz) dienen der (inter-)nationalen Vernetzung sowie der Durchführung spezifischer FuE-Aktivitäten. Darüber hinaus beteiligt sich die BGE u. a. für den Bereich Standortauswahl, neben anderen europäischen „Waste Management Organisations“ (WMOs/Vorhabenträgern), als Partner an weiteren Forschungsk Kooperationen und Forschungsprogrammen wie z. B. der Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technology Platform ([IGD-TP](#)) und dem EUROpean Joint Programme on RADioactive Waste Management ([EURAD](#)). Im Forschungsprogramm EURAD bearbeiten technische Beratungsorganisationen, Forschungsinstitute und WMOs unter Einbeziehung der Zivilgesellschaft gemeinsam Themen zur erfolgreichen Umsetzung von Entsorgungsprogrammen. Außerdem beteiligt sich die BGE für den Bereich Standortauswahl an den drei wirtsgesteinspezifischen Arbeitsgruppen ([Salt Club](#), [Clay Club](#) und [Crystalline Club](#)) der Integration Group for the Safety Case ([IGSC](#)) der OECD Nuclear Energy Agency ([OECD-NEA](#)). Diese Kooperationen und Programme dienen dem Austausch zu relevanten Forschungsthemen und dem Zusammenwirken in gemeinsamen Arbeitsgruppen und Vorhaben. FuE-Fragen, Erkenntnisse und Ergebnisse mit Bezug zum Standortauswahlverfahren, die aus diesen Kooperationen hervorgehen, fließen in das Verfahren ein. Ergänzend beteiligt sich der Bereich Standortauswahl an kooperativen Vorhaben und Abschlussarbeiten (z. B. Diplom-/Masterarbeiten, Promotionsvorhaben).

Eine Übersicht und detaillierte Beschreibung der Beteiligungen der BGE an nationalen und internationalen Gremien sowie FuE-Aktivitäten des Bereichs Standortauswahl wird fortgeschrieben und veröffentlicht (<https://www.bge.de/de/endlagersuche/forschung/>).

3 Fortschreibung und Struktur der Forschungsagenda

3.1 Fortschreibung der Forschungsagenda

Die erste Forschungsagenda des Bereichs Standortauswahl wurde im Sommer 2020 veröffentlicht (BGE 2020ch). Nach einer ersten Bewertung von FuE-Fragestellungen im Jahr 2017 für die Aufgaben der BGE im Standortauswahlverfahren wurden bereits An-

fang 2018 erste FuE-Aktivitäten initiiert. Zudem wurden weitere Forschungs- und Entwicklungsfragen ermittelt. Die Ergebnisse wurden im März 2019 im Rahmen eines zweitägigen Workshops in Braunschweig vorgestellt, mit nationalen Experten der Endlagerforschung erörtert und in einem Bericht der Standortauswahl zusammengestellt (BGE 26.06.2019). Kritik und Anregungen aus den Diskussionen im Frühjahr 2019 wurden aufgegriffen und in der Forschungsagenda 2020 berücksichtigt. Die Forschungsagenda 2020 (BGE 2020ch) stellte eine Überarbeitung des Berichts „Forschungs- und Entwicklungsbedarf Standortauswahlverfahren – Sicht des Vorhabenträgers“ (BGE 26.06.2019) dar.

Bei der Forschungsagenda 2021 handelt es sich um die Fortschreibung der Forschungsagenda 2020. Die regelmäßige Fortschreibung der Forschungsagenda soll es ermöglichen, geänderte Rahmenbedingungen (z. B. geänderte Gesetze und Verordnungen), neue Erkenntnisse und die Diskussionen mit der (Fach-)Öffentlichkeit zu berücksichtigen. So erfolgte kurz nach Finalisierung der Forschungsagenda 2020 die Veröffentlichung der für das Standortauswahlverfahren zentralen Verordnungen (EndlSiAnfV und EndlSiUntV). Darüber hinaus wurde mit der Veröffentlichung des „Zwischenberichtes Teilgebiete“ am 28.09.2020 der Schritt 1 der Phase I abgeschlossen und das erste formelle Beteiligungsverfahren „Fachkonferenz Teilgebiete“ gestartet.

Mit dem Start der „Fachkonferenz Teilgebiete“ und den Arbeiten in Schritt 2 der Phase I ergeben sich zunehmend konkrete FuE-Fragen und damit gegebenenfalls entsprechende Bedarfe. Die Vorstellung und Diskussion von FuE-Bedarfen und konkreten Vorhaben geschieht laufend, z. B. im Rahmen von wissenschaftlichen Veranstaltungen wie den „Tagen der Standortauswahl“ und weiteren öffentlichen Veranstaltungen.

Aus dem fortgesetzten Austausch mit der (Fach-)Öffentlichkeit hat sich eine stärkere Berücksichtigung der Inter- und Transdisziplinarität zur Frage der klimatischen Entwicklung und deren Einfluss auf die Endlagersicherheit entwickelt und wird fokussierter diskutiert. So wurden zu diesem Thema bereits Anfang März 2021 zwei Forschungsaufrufe zum Themenfeld glaziale Prozesse veröffentlicht.

Die Fortschreibung der „Forschungsagenda Standortauswahl“ wird in regelmäßigen Abständen stattfinden, um wie zuvor beschrieben, veränderte Rahmenbedingungen (z. B. geänderte Gesetze und Verordnungen) und neue Erkenntnisse (z. B. aus dem Austausch mit der (Fach-)Öffentlichkeit oder aus neuen Forschungsergebnissen) aufzugreifen. Nach der hier vorliegenden ersten Fortschreibung nach einem Jahr, die auf Grund der Dynamik des Standortauswahlverfahrens in dieser frühen Phase geboten war, ist in Zukunft ein 2-Jahres-Intervall vorgesehen. Bei Bedarf kann und wird eine frühere Fortschreibung stattfinden.

3.2 Struktur der Forschungsagenda

Die Forschungsagenda und die Forschungs-Roadmap können den Rahmen und die Struktur zur Steuerung der Planung und Koordination der FuE-Aktivitäten darstellen. In

der Forschungsagenda werden Forschungsfragen identifiziert und in das Standortauswahlverfahren eingeordnet. Dabei entsprechen die Forschungsfragen und die daraus abgeleiteten Bedarfe den auf den bestehenden Wissensstand bezogenen Wissenslücken, die durch passende Aktivitäten geschlossen werden können. Hierzu werden laufend die Ziele und Schwerpunkte, die notwendigen Maßnahmen sowie die Anforderungen an die wissenschaftliche Arbeit erörtert und einbezogen.

Die Identifikation von Forschungsfragen, die Ableitung von FuE-Bedarfen und die Formulierung von konkreten Vorhaben erfolgt sukzessive im Zuge des iterativen Standortauswahlverfahrens durch den Bereich Standortauswahl unter Einbindung des Bereichs Forschung und Entwicklung / Wissensmanagement der BGE. Es fließen Erfahrungen aus den Endlagerprojekten der BGE, Themen, die sich aus der Gremienarbeit und Kooperationen ergeben, sowie Hinweise von Fachexperten und der Öffentlichkeit ein.

Die Forschungsagenda beinhaltet fünf Forschungsfelder:

1. Inventar radioaktiver Abfälle und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften
2. Geowissenschaftliche Fragestellungen
3. Endlagerplanung
4. Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
5. Transfer und Interaktivität zu soziotechnischen Fragen.

Den Forschungsfeldern werden relevante Themen und FuE-Bedarfe zugeordnet. Für jedes Thema werden FuE-Bedarfe ermittelt und in die Forschungs-Roadmap (siehe Anlage 1) eingepflegt. In der Roadmap werden Bedarfe und Vorhaben mit dem Zeitpunkt der benötigten Ergebnisse, dem Beginn und der abgeschätzten Dauer dargestellt. Um in der hier vorliegenden Forschungsagenda ein umfassendes Bild geben zu können, werden auch bereits abgeschlossene FuE-Vorhaben in der Roadmap dargestellt.

Themen, die einen klaren Bezug zu den Aufgaben der Standortauswahl haben, für die allerdings nach aktueller Lage keine konkreten Fragestellungen oder Bedarfe formuliert sind, werden als „weitere Themen“ in der Roadmap geführt. Die BGE wird die „weiteren Themen“ begleitend zum Standortauswahlverfahren hinsichtlich der Entwicklung des Standes von W&T beobachten und sich mit Partnern und der (Fach-) Öffentlichkeit austauschen. In der weiteren Umsetzung des Standortauswahlverfahrens werden diese Themen mit jeder Fortschreibung der Forschungsagenda neu bewertet. Gegebenenfalls werden Fragen und Bedarfe als nicht mehr relevant identifiziert und zurückgestellt oder neue Bedarfe identifiziert und dazu neue Vorhaben geplant.

Der Fokus der vorliegenden Forschungsagenda liegt auf dem Erkenntnisgewinn und den Ergebnissen für die Phase I und für den Beginn der Phase II des Standortauswahlverfahrens.

Die Schwerpunkte dieser aktuellen Forschungsagenda werden im Kapitel 4 vorgestellt. Eine Zusammenfassung des Standes von W&T zu jedem Forschungsfeld ist nicht Gegenstand der vorliegenden Forschungsagenda.

4 Forschungsfelder der Forschungsagenda

4.1 Forschungsfeld 1 – Inventar radioaktiver Abfälle und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften

Definition

In Deutschland werden die radioaktiven Abfälle bei der Endlagerung in Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung unterteilt (vgl. Abbildung 2).

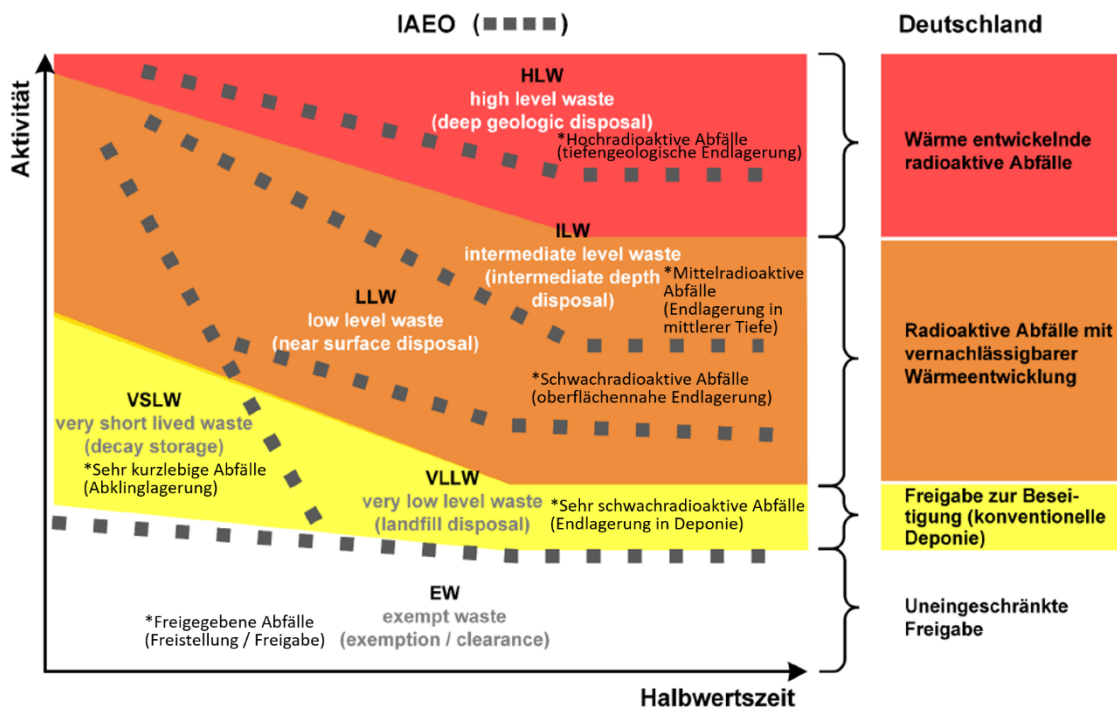


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Abfallklassifizierung der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) und der deutschen Klassifizierung. Modifiziert nach dem: Bericht der Bundesregierung für die siebte Überprüfungskonferenz im Mai 2021 zur Erfüllung des Gemeinsamen Übereinkommens über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle (BMU 2019). * markiert Übersetzungen der Autoren.

Zu den Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen zählen die hochradioaktiven Abfälle und aufgrund ihrer Wärmeabgabe auch ein Teil der mittelradioaktiven Abfälle. Zu den Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung gehören die schwachradioaktiven Abfälle und der Großteil der mittelradioaktiven Abfälle.

Neben der Radiotoxizität können die radioaktiven Abfälle und ausgedienten Brennelemente auch chemotoxische Stoffe enthalten; auch das ist ggf. bei den Sicherheitsbetrachtungen zu berücksichtigen.

Gemäß § 1 Abs. 2 StandAG werden im Standortauswahlverfahren hochradioaktive Abfälle mit der Maßgabe betrachtet, dass der ausgewählte Standort die bestmögliche Sicherheit bietet, um diese sicher für eine Million Jahre endzulagern. Für eine abschließende Sicherheitsbetrachtung sind die Quantifizierung und ein sehr gutes Verständnis der Eigenschaften der hochradioaktiven Abfälle, der verbundenen Prozesse und Veränderungen im Nahfeld sowie der Wirkungen im Endlagersystem relevant.

Fokus

Das Forschungsfeld 1 befasst sich damit, ein besseres Verständnis des Verhaltens hochradioaktiver Abfälle in einer Endlagerumgebung zu entwickeln. Diese Erkenntnisse bilden eine essentielle Grundlage zur Bestimmung einer geeigneten Endlagerauslegung.

FuE-Aktivitäten des Forschungsfeldes 1 beschäftigen sich unter anderem mit den initialen Eigenschaften und der radiochemischen Entwicklung von hochradioaktiven Abfällen und zielen insbesondere darauf ab, Veränderungen des radioaktiven Abfalls, die Prozesse im Nahfeld und im Endlagersystem zu verstehen und die Auswirkungen auf eine sichere Endlagerung bewerten zu können, z. B. in Bezug auf die Integrität des Barriersystems.

Auch der Ausschluss von Kritikalität muss für den gesamten Bewertungszeitraum von einer Million Jahre nachgewiesen werden. Aus diesen Sicherheitsanforderungen können sich FuE-Bedarfe ergeben, welche die BGE zu besorgen hat. Hierfür ist miteinzuplanen und abzusichern, dass die fachspezifische Expertise termingerecht verfügbar ist.

Themen

Das Forschungsfeld 1 ist in die Themen ***Eigenschaften und Verhalten hochradioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente, radiochemische Entwicklung hochradioaktiver Abfälle*** sowie ***Kritikalitätsausschluss*** gegliedert.

4.2 Forschungsfeld 2 – Geowissenschaftliche Fragestellungen

Definition

Geowissenschaftliche Informationen bilden die Grundlage hinsichtlich der Auswahl und der Sicherheitsbewertung eines geeigneten Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle. Dies beinhaltet sowohl genaue Kenntnisse über die derzeitige geologische, strukturgeologische und hydrogeologische Situation, als auch Prognosen zur Langzeitentwicklung u. a. unter Berücksichtigung klimatischer Veränderungen. Diese Ergebnisse werden in einer Geosynthese zusammengefasst und beeinflussen die Auslegung und die Planung eines Endlagers und liefern somit wichtige Daten für das Forschungsfeld 3 – „Endlagerplanung“ sowie für das Forschungsfeld 4 – „Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen“.

Fokus

Im Fokus des Forschungsfeldes 2 stehen FuE-Aktivitäten, die zu einem grundlegenden Verständnis der geologischen Langzeitentwicklung für die nächsten eine Million Jahre beitragen. Wichtige Informationen für die Sicherheitsbewertung eines Standortes sind z. B. Aussagen zur tektonischen Entwicklung, zum Vulkanismus, zur seismischen Aktivität, zur Aktivität von Störungszonen und zur klimatischen Langzeitentwicklung und deren Einfluss auf die Sicherheit eines Endlagers.

Weitere FuE-Aktivitäten ergeben sich aus der Anwendung der gesetzlich geforderten Kriterien und Anforderungen (§§ 22 bis 24 StandAG). Hierbei ist auch die Charakterisierung der drei Wirtsgesteine von Bedeutung.

Geowissenschaftliche und geophysikalische Erkundungsmethoden werden für die Phasen II und III des Standortauswahlverfahrens benötigt, um die für die Anwendung der Kriterien und Anforderungen sowie die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß StandAG notwendigen Parameter an den jeweiligen Standortregionen und Standorten zu ermitteln.

Parallel sind Monitoringverfahren zu entwickeln, die den Stand der Technik berücksichtigen und bereits während der Erkundungsphasen eingeplant werden müssen.

Themen

Das Forschungsfeld 2 beinhaltet Forschungsaktivitäten zu den Themen **geowissenschaftliche Prozesse, klimatische Prozesse, Kriterien und Anforderungen nach §§ 22 bis 24 StandAG, Eigenschaften des Wirtsgesteins** sowie **Erkundung**.

4.3 Forschungsfeld 3 – Endlagerplanung

Definition

Die Planung eines Endlagers erfordert die Entwicklung spezifischer Sicherheitskonzepte und Methoden zur Nachweisführung sowie geeigneter Methoden für einen sicherheitsgerichteten Vergleich hinsichtlich der Langzeitentwicklung. Dabei müssen mit Fortschreiten des Standortauswahlverfahrens und der räumlichen Einengung die Planungen zunehmend wirtsgesteins- und standortspezifisch weiterentwickelt werden.

Darüber hinaus sind bei der Planung eines Endlagers die Anforderungen an die Reversibilität zu berücksichtigen.

Endlagerkonzepte sind abhängig vom ausgewählten Wirtsgestein, Art, Menge und Inventar des radioaktiven Abfalls und beinhalten die Entwicklung von Behälterkonzepten, Verfüll- und Verschlusskonzepten, Sicherheitskonzepten sowie die Planung der Tagesanlagen.

Für das Forschungsfeld 3 sind der Transfer und das Einbeziehen der Erkenntnisse aus dem Forschungsfeld 1 „Inventar radioaktiver Abfälle und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften“ und dem Forschungsfeld 2 „Geowissenschaftliche Fragestellungen“ von erheblicher Bedeutung.

Fokus

In diesem Forschungsfeld wird die Entwicklung von Behältern je nach wirtsgesteinsspezifischen Anforderungen betrachtet. Zu berücksichtigen sind dabei z. B. die Korrosion von Behältern oder die Grenztemperatur an der Behälteroberfläche. Die Entwicklung von Behälterkonzepten beinhaltet Untersuchungen zu geeigneten Behältermaterialien sowie die Darstellung von Abhängigkeiten und einwirkender Prozesse zwischen dem Endlagerbehälter und der geotechnischen Barriere (z. B. mechanische Belastungen), die für einen Integritätsnachweis förderlich sind bzw. ihn erschweren. Auch Verfüll- und Verschlusskonzepte müssen wirtsgesteinsspezifisch entwickelt bzw. weiterentwickelt werden.

Die Auslegung und das Design eines Endlagers müssen thermische Gradienten und Temperaturentwicklung sowie das Verhalten der radioaktiven Abfälle in einem Endlagersystem mitbetrachten. Die Entwicklung derartiger Konzepte und Techniken erfolgt iterativ, so dass der Detaillierungsgrad im Laufe des Standortauswahlverfahrens zunimmt. Zur Auslegung des Endlagersystems gehört auch die Planung der Tagesanlagen.

Die Betriebssicherheit eines Endlagers während der Errichtung, des Betriebs und der Stilllegung des Bergwerks haben maßgeblichen Einfluss auf die Erarbeitung von Endlagerkonzepten. Gemäß § 1 Abs. 4 StandAG muss für den Zeitraum der Betriebsphase des Endlagers die technische Machbarkeit der Rückholbarkeit der Abfälle bestehen und nachgewiesen werden.

Darüber hinaus müssen generelle Überlegungen für die Möglichkeit einer Bergung der radioaktiven Abfälle während der Stilllegung und des Verschlusses sowie für einen Zeitraum von 500 Jahren nach dem Verschluss des Bergwerks erfolgen.

Bei der Entwicklung der Konzepte für die Endlagerauslegung sind Maßnahmen zur Kernmaterialüberwachung (Safeguards) während der Betriebsphase, der Stilllegung und nach dem Verschluss vorzusehen. Dies erfordert die Entwicklung geeigneter Überwachungskonzepte für unterschiedliche Endlagerauslegungen sowie die Weiterentwicklung der Überwachungstechnik.

Vor diesem Hintergrund werden alle FuE-Aktivitäten zur Erarbeitung von Endlagerkonzepten im Kontext der Reversibilität durchgeführt. In diesem Zusammenhang sind geeignete Monitoringkonzepte und -techniken, mit dem Ziel frühzeitig Abweichungen von den erwarteten Entwicklungen des Endlagersystems aufzuzeigen, zu besorgen. Mit Fortschreiten des Auswahlverfahrens, spätestens mit der Erkundung, sind die Konzepte standortspezifisch weiterzuentwickeln.

Zur Bestätigung und Überprüfung der entwickelten Konzepte und technischen Lösungen werden in Zukunft auch Demonstrationsversuche unter realen Bedingungen geplant und durchgeführt. Diese sind jedoch aktuell noch nicht Bestandteil von Themenfeld 3.

Themen

Das Forschungsfeld beinhaltet Forschungsaktivitäten zu den Themen **Behälterkonzept, Verfüll- und Verschlusskonzept, Endlagerauslegung und Design, Endlagertechnik, Tagesanlagen, Betriebssicherheit, Monitoring, Nachweis der technischen Rückholbarkeit, Möglichkeit einer Bergung sowie Kernmaterialüberwachung (Safeguards)**.

4.4 Forschungsfeld 4 – Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen

Definition

Im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen ist zu bewerten, inwieweit der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle unter Berücksichtigung der geologischen Standortgegebenheiten erwartet werden kann. Hierbei wird das Endlager in seiner Gesamtheit betrachtet und entsprechend dem Stand von W&T hinsichtlich seiner Sicherheit über den Bewertungszeitraum von einer Million Jahren bewertet. Eine belastbare Bewertung des sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle beruht dabei zu einem großen Teil auf den Erkenntnissen aus den zuvor beschriebenen Forschungsfeldern. Vor allem aber ist der sichere Einschluss abhängig von der Integrität der geologischen und geotechnischen Barrieren. Die Ergebnisse aus dem Forschungsfeld 1 „Inventar radioaktiver Abfälle und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften“, aus dem Forschungsfeld 2 „Geowissenschaftliche Fragestellungen“ und dem Forschungsfeld 3 „Endlagerplanung“ werden daher maßgeblich in dieses Forschungsfeld einbezogen.

Fokus

Im Forschungsfeld 4 werden die Fragen bearbeitet, die zur Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen zu klären sind.

Erforderlich für die Bewertung der Langzeitsicherheit ist ein gutes Verständnis der geologischen Gesamtsituation, möglicher Entwicklungen und Änderungen externer Randbedingungen (z. B. glaziale Prozesse), der Barrierensysteme, der Verschlüsse, der eingelagerten radioaktiven Abfälle und deren Langzeitverhalten sowie der Auslegung des Endlagers. Die FuE-Aktivitäten zielen auf die Verbesserung dieses Verständnisses ab.

Vor dem Hintergrund der Relevanz für die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen müssen Strategien zum Umgang von Ungewissheiten entwickelt werden. Durch FuE-Aktivitäten sollen Methoden entwickelt werden, um Ungewissheiten zu charakterisieren, ggf. zu quantifizieren und wenn möglich zu reduzieren.

Um die in der EndlSiAnV definierten Sicherheitsanforderungen zu erfüllen, müssen Sicherheitskonzepte zur Erreichung des sicheren Einschlusses entwickelt werden. Dabei ist das gesamte Endlagersystem von Errichtung über den gesamten Bewertungszeitraum zu bewerten.

Die Erstellung und Nutzung von „Features, Events, Processes-Katalogen“ (Eigenschaften, Ereignisse, Prozesse; FEP-Kataloge) ist für alle vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen relevant. Mit Hilfe der Ableitung von Szenarien aus den FEP-Katalogen können

alle Komponenten und Prozesse, die für die gegenwärtige und zukünftige Entwicklung eines Endlagers relevant sind, identifiziert und charakterisiert werden. Als erster Schritt werden vorhandene FEP-Kataloge zusammengetragen und in einer FEP-Datenbanklösung (FEP-DB) zusammengefasst. Aufsetzend auf diese FEP-DB können Erweiterungen bzw. Überarbeitungen durchgeführt werden.

Für die Langzeitsicherheit ist die Integrität der geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren von zentraler Bedeutung. Diese muss mindestens für den Zeitraum gewährt sein, für den die jeweiligen Barrieren Sicherheitsfunktionen übernehmen. Das Barrierensystem in seinem Zusammenspiel muss eine einschließende Wirkung über den gesamten Bewertungszeitraum von einer Million Jahren aufweisen. Für die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen spielt deswegen der Nachweis der Integrität der verschiedenen Barrieren eine wesentliche Rolle.

Der zu leistende sichere Einschluss zielt darauf ab, die radioaktiven Abfälle am Ort der Einlagerung zu konzentrieren und sicher zu stellen, dass das Massenausstragskriterium der EndlSiAnfV jährlich sowie im gesamten Bewertungszeitraum eingehalten wird. Außerdem zielt der sichere Einschluss darauf ab, dass eventuelle Expositionen auf Grund von Austragungen von Radionukliden geringfügig im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition sind, welches über das Dosiskriterium der EndlSiAnfV definiert ist. Beide Aspekte sind in den vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen zu betrachten.

Themen

Das Forschungsfeld 4 beinhaltet Forschungsaktivitäten zu den Themen ***Ungewissheiten, Nachweisführung (Prüfung und Darstellung der Sicherheitsfunktionen), FEP-Kataloge und Szenarienentwicklung, Integritätsnachweis des Barrierensystems*** sowie ***Gewährleistung des sicheren Einschlusses***.

4.5 Forschungsfeld 5 – Transfer und Interaktivität zu soziotechnischen Fragen

Definition

Sozialwissenschaftliche sowie soziotechnische Fragestellungen sind wichtige Aspekte des Standortauswahlverfahrens, welche zusammen mit den naturwissenschaftlichen und technischen Fragestellungen aus den Forschungsfeldern 1 bis 4 bei der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle zu berücksichtigen sind. Diese Fragestellungen werden in Forschungsfeld 5 betrachtet. Dazu sollen überregionale gesellschaftliche Rahmenbedingungen für die Implementierung des Standortauswahlverfahrens unter Betrachtung des generationenübergreifenden Charakters sowie der zeitlichen Dimension beforscht werden. Im Weiteren wird ein transdisziplinärer Forschungsansatz verfolgt, um die Anforderungen sowie Erwartungen an die Endlagerung aus technischer und nicht-technischer bzw. wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Perspektive zu bestimmen. Durch die Betrachtung der Endlagerung als ein soziotechnisches System ist das Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation hinsichtlich potenzieller Risiken und deren Einfluss auf die Endlagersicherheit zu untersuchen.

Fokus

Das Forschungsfeld 5 betrachtet die Wechselwirkungen zwischen naturwissenschaftlichen und technischen Gegebenheiten einerseits und gesellschaftlichen Aspekten andererseits.

Als Vorhabenträgerin hat die BGE die partizipative, wissenschaftsbasierte, transparente, selbsthinterfragende und lernende Durchführung des Standortauswahlverfahrens zu besorgen. Die soziotechnischen Anforderungen an die Organisation der BGE, die sich hieraus ergeben, müssen geklärt und geeignete Methoden zur Umsetzung und Evaluierung des lernenden Verfahrens entwickelt werden.

Zur Kommunikation und Information verschiedener Interessensgruppen und Beteiligter über die lange Verfahrensdauer hinweg, werden geeignete Methoden, Instrumente und Formate entwickelt und optimiert. Zwecks der Erfassung des Standes von W&T werden FuE-Aktivitäten zum Wissens-, Know-How- und Erfahrungsaustausch auf nationaler und internationaler Ebene initiiert.

Für die sozioökonomische Potenzialanalyse gemäß § 16 Abs. 1 StandAG müssen geeignete Methoden zur Verfügung stehen, um die potenziellen Auswirkungen eines Endlagers auf einen Standort bzgl. der ökonomischen und sozialen Ebenen abschätzen zu können. Gesellschaftliche Reaktionen in Hinblick auf die Standortauswahl sollen identifiziert und analysiert werden.

Durch Untersuchung transdisziplinärer Themen, wie Monitoring, Rückholbarkeit, Bergung und Reversibilität im Verfahren und deren Entwicklung über lange Zeiträume hinweg mit anderen betroffenen Beteiligten und Projektpartnern wird der Austausch und die Zusammenarbeit gefördert. Die BGE begleitet mit Interesse andere transdisziplinäre FuE-Vorhaben wie z. B. ENTRIA (Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen) und TRANSENS (Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktive Abfälle in Deutschland). Dieser Ansatz verbessert das gemeinsame Verständnis für verschiedene Sichtweisen, die in der Umsetzung des Standortauswahlverfahrens zu berücksichtigen sind.

Themen

Das Forschungsfeld 5 beinhaltet Forschungsaktivitäten zu den Themen **Transparenz und Ergebnis-/Wissensvermittlung des lernenden Verfahrens, sozioökonomische Potenzialanalysen, Wechselwirkung Mensch-Technik-Organisation, Standortauswahl vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Diskussion** sowie **Standortauswahl im transdisziplinären Kontext**.

Literaturverzeichnis

- AtG: Atomgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 239 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist
- BGE (26.06.2019): Forschungs- und Entwicklungsbedarf Standortauswahlverfahren. Sicht des Vorhabenträgers. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- BGE (2020ch): Standortauswahl Forschungsagenda 2020. Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur Umsetzung des Standortauswahlverfahrens. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- BGE (2020g): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.
https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Zwischenbericht_Teilgebiete_barrierefrei.pdf
- BMU (2017): Übertragung der Wahrnehmung von Aufgaben und Befugnisse auf die Bundes-Gesellschaft für Endlagerung mbH. [PDF-Datei]. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Zugriff am: 12.08.2020. Verfügbar unter
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Endlagerprojekte/aufgabenuebertragung_BGE_bf.pdf
- BMU (2019): Referentenentwurf zur Verordnung über die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle. [PDF-Datei]: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Zugriff am: 12.08.2020. Verfügbar unter
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/19_Lp/endlsianf_vo/entwurf/endlsianf_vo_refe_bf.pdf
- EndLaNOG (2016): Gesetz zur Neuordnung der Organisationsstruktur im Bereich der Endlagerung vom 26.07.2016 (BGBl. I S. 1843)
- EndSiAnfV: Endlagersicherheitsanforderungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094)
- EndSiUntV: Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094, 2103)
- ESK (2016): Stellungnahme der Entsorgungskommission Endlagerforschung in Deutschland: Anmerkungen zu Forschungsinhalten und Forschungssteuerung. 12.05.2016. RSK/ESK-Geschäftsstelle beim Bundesamt für Strahlenschutz Bonn
- GWB: Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. Juni 2013 (BGBl. I S. 1750, 3245), das zuletzt durch Artikel 30 des Gesetzes vom 23. Juni 2021 (BGBl. I S. 1858) geändert worden ist
- StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2760) geändert worden ist
- StandAG 2013: Standortauswahlgesetz vom 23. Juli 2013 (BGBl. I S. 2553), außer Kraft getreten zum 16.05.2017 (BGBl. I S. 1105) und ersetzt durch das Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074)

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Eschenstraße 55
31224 Peine
T +49 05171 43-0
poststelle@bge.de
www.bge.de